

Die Wasserversorgung des antiken Pergamon

Garbrecht, Günther

Veröffentlicht in:
Jahrbuch 1991 der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.13-28



Verlag Erich Goltze KG, Göttingen

Die Wasserversorgung des antiken Pergamon

Von **Günther Garbrecht**

Von Angehörigen des Leichtweiß-Instituts für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig sind seit 1968 im Zusammenhang mit der archäologischen Grabung Pergamon Untersuchungen über die Wasserversorgungsanlagen der historischen Stadt durchgeführt worden. In sieben jeweils sechs- bis achtwöchigen Arbeitskampagnen (1968, 1972, 1973, 1975, 1976, 1979, 1981) konnten die Wasserzuleitungen zur Stadt aufgefunden, vermessen, und dokumentiert werden. In den Jahren 1973, 1975, 1976 und 1979 wurden diese Arbeiten durch die Aufnahme einer Reihe von Aquädukten durch Angehörige des Lehrstuhls für Baugeschichte der Technischen Universität Braunschweig ergänzt.

Es ist davon auszugehen, daß die Fernwasserleitungen zur Stadt nunmehr bekannt sind. Sie sollen in diesem Aufsatz dargestellt werden, wobei besonders auf die einzigartige Hochdruckleitung eingegangen wird.

Seit es große Städte gibt, d.h. seit rund 6000 Jahren, gibt es auch das Problem der Bereitstellung von genügend Trinkwasser für die Einwohner. Schwierigkeiten in der Versorgung waren dadurch bedingt, daß bei der Ortswahl für die Gründung dieser frühen Siedlungen, die sich dann später oft zu politischen und wirtschaftlichen Zentren von Regionen oder Staaten entwickelten, wasserwirtschaftliche Gesichtspunkte nur selten eine Rolle gespielt haben. Die Entscheidungen sind fast immer aufgrund von politischen, militärischen oder wirtschaftlichen Erwägungen getroffen worden. Auch verkehrstechnische Belange haben oft eine maßgebende Rolle gespielt. Wenn dann auch am Anfang die unmittelbare örtliche Wasserversorgung meist noch gesichert war, so sprengte doch bald der Bedarf der zunehmenden Bevölkerung den Rahmen der am Ort gegebenen Möglichkeiten und es entstanden Diskrepanzen zwischen dem lokalen natürlichen Wasserdargebot und den Ansprüchen der rasch wachsenden Städte. Damit ergab sich für die zeitgenössischen Baumeister immer wieder die Aufgabe, genügend Wasser zur Deckung dieses Bedarfs aufzufinden, zu fassen, an die Städte heranzuführen, es u.U. zu speichern und schließlich zu verteilen.

Nun sind die Städte, die wir aus Geschichtsbüchern und aus Fachveröffentlichungen kennen, nicht die Städte der Ingenieure, sondern es sind die Städte, wie sie Historiker, Architekten und Archäologen sehen. Die technische Infrastruktur, für die der Ingenieur verantwortlich zeichnet, tritt in diesen Darstellungen meist in den Hintergrund. Kanäle, Rohre, Zisternen, Absetzbecken oder Straßen haben nun einmal in der Öffentlichkeit (und leider oft auch bei den unmittelbar Beteiligten) nicht den gleichen Stellenwert wie beispielsweise Theater, Tempel, Thermen oder Königspaläste. Ich bin jedoch der Auffassung, daß viele der hydrotechnischen Anlagen der großen Städte des Altertums in der Großartigkeit ihrer Konzeption und in der hochstehenden Technik ihrer

Ausführung den hervorragenden und mit Recht gerühmten architektonischen Leistungen ihrer Zeit durchaus ebenbürgig waren. Den Nachweis für die Berechtigung dieser Ansicht möchte ich versuchen, am Beispiel der Stadt Pergamon zu führen.

Nun ist das Wasserversorgungssystem einer Stadt nur ein Teil einer über Jahrhunderte hinweg organisch gewachsenen, vielschichtigen Einheit. Da die Beschreibung eines einzelnen Gliedes dieser Einheit ohne die Kenntnis des Ganzen wenig plastisch wäre und Stückwerk bleiben müßte, möchte ich zunächst die Stadt Pergamon, ihre Landschaft und ihre Geschichte kurz vorstellen.

Pergamon liegt an der Westküste Kleinasiens, in der antiken Landschaft Mysien oder genauer, am Nordrand des Kaikos-Tales, etwa 20 km vom Meer entfernt. Das Pergamon des 5. und 4. Jahrhunderts v. Chr. muß man sich als Bergfestung und Herrnsitz auf der Spitze des 300 m aus dem Kaikos-Tal aufragenden Burgfelsens vorstellen. Es war wohl nicht zuletzt die hohe Einschätzung Pergamons als wehrhafte Festung, die den Diadochen Lysimachos bewog, den Kriegsschatz Alexanders, oder jedenfalls den ihm davon zustehenden Teil, nach hier zu verbringen.

Nach dem Tod des Lysimachos in der Schlacht bei Magnesia 281 v. Chr. und mit der Übernahme der Macht durch Philetairos begann die eigentliche Geschichte des pergamenischen Reiches. Das Stadtgebiet auf dem Burgberg umfaßte zu dieser Zeit etwa 5 ha. Es wurde unter seinem Nachfolger Eumenes I., vielleicht auch schon unter Philetairos, auf 21 ha Fläche erweitert.

100 Jahre später (197 bis 159 v. Chr.) führte Eumenes II. dann das Reich in 38 jähriger Regierungszeit auf den Höhepunkt seiner Macht und Bedeutung. Der Stadtbereich Pergamon dehnte sich während dieser Zeit auf der klimatisch und topographisch bevorzugten südlichen und westlichen Seite des Burgberges auf eine Fläche von 90 ha aus (Abb. 1). Die gesamte Oberburg, jetzt „Königsstadt“ genannt, wurde neu gestaltet. Prachtbauten entstanden auf künstlichen Terrassen, darunter auch der Pergamon-Altar. Wissenschaft und Künste wurden gefördert und neben der alexandrinischen Bibliothek wurde die pergamenische mit ihren 200.000 Bänden die bedeutendste der damaligen Welt.

Nach der Übernahme Pergamons durch Rom im Jahre 133 v. Chr. folgte eine 350jährige Friedensepoche, in der die Stadt zwar politisch keine Rolle mehr spielte, kulturell jedoch nach wie vor Bedeutung besaß. Sie gab ihren Festungscharakter auf und wurde offene Stadt mit schließlich 160.000 Einwohnern. Unter Trajan (98–117 n. Chr.) erlebte Pergamon dann eine neue Blüte (Abb. 2). Das Asklepieion wurde ausgebaut und errang Weltruf, ein Theater für 30.000 und ein Amphitheater für 50.000 Zuschauer wurden errichtet, die sogenannte „Rote Halle“, einer der gewaltigsten Ziegelbauten außerhalb Roms, entstand.

Mit dem Niedergang der römischen Macht ging auch die Bedeutung Pergamons zurück. Die Stadt schrumpfte und zog sich, ihre Entwicklung umkehrend, aus der Ebene wieder auf den Burgberg zurück. 1302 war Pergamon noch eine starke seldschukische Provinzstadt im Schatten des Burgberges.

Pergamon war während seiner hellenistischen Zeit immer eine Festung gewesen. Nun hängt der Verteidigungswert einer Festung oder einer befestigten Stadt nicht nur

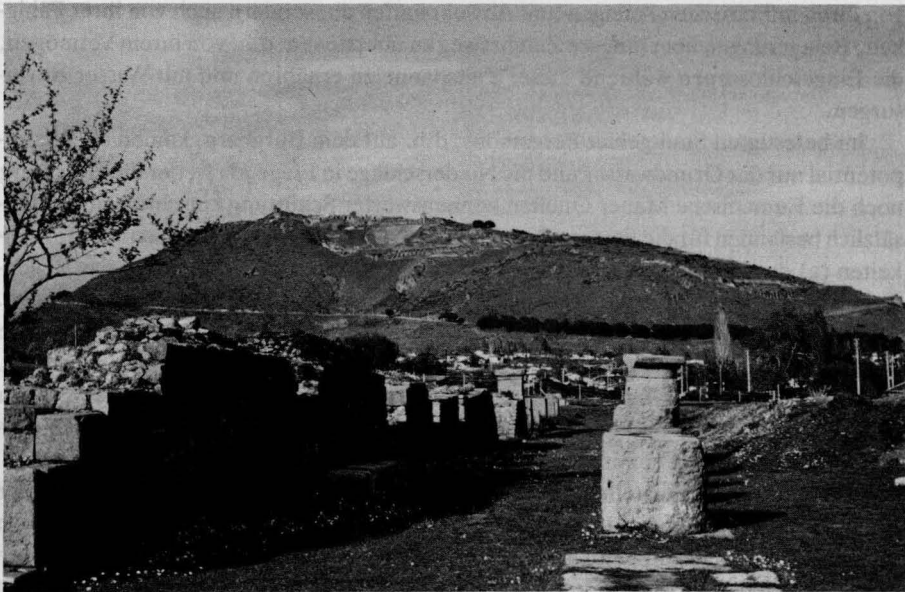


Abb. 1:

Blick von Südwesten auf den Burgberg Pergamon.

Im Vordergrund die von der Stadt ins Asklepieion führende Via Tecta

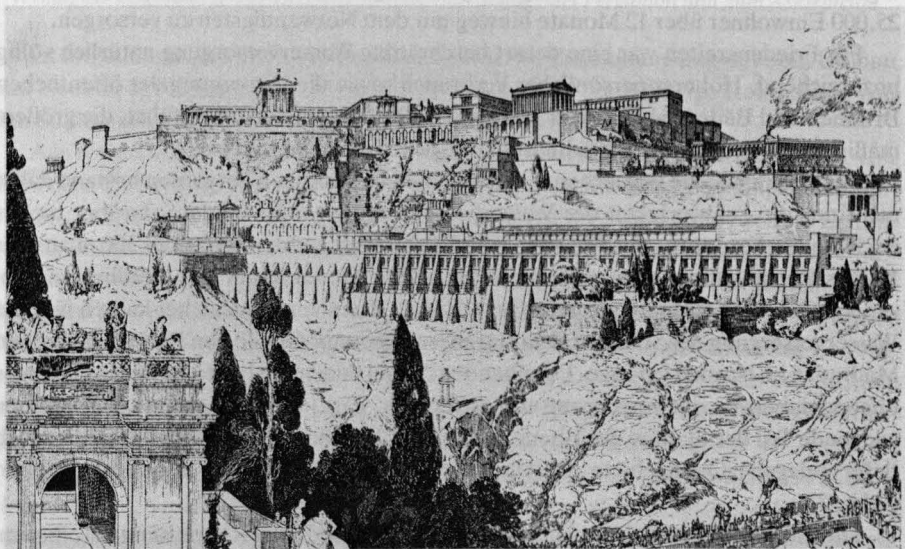


Abb. 2:

*Blick aus dem Bereich des römischen Theaters auf den Burgberg (Mitte 2. Jahr. n. Chr.).
Links das Traianeum, in der Mitte die Athena-Terrasse (mit Athena-Tempel und Bibliothek),
rechts der Zeus-Altar (Rekonstruktion nach Bohn und Koch, 1886)*

von ihren militärischen Anlagen und Abwehrwaffen ab, sondern auch von ihrer Fähigkeit, Belagerungen über längere Zeit hinweg zu überstehen, d.h. von ihrem Vermögen, die Eingeschlossenen während dieser Zeitspanne zu ernähren und mit Wasser zu versorgen.

Im befestigten Stadtgebiet Pergamons, d.h. auf dem Burgberg, kamen als Wasserpotential nur das Grundwasser und die Niederschläge in Frage, da weder die Hochburg noch die Eumenische Mauer Quellen nennenswerter Schüttung einschlossen. Grundsätzlich bestanden für die Festung Pergamon im Falle einer Belagerung also die Möglichkeiten (a) das Grundwasser durch genügend tiefe Brunnen zu nutzen, (b) das Regenwasser aufzufangen und zu speichern oder (c) eine Kombination beider Nutzungen. Der Stand des technischen Könnens im 1. Jhrt. v.Chr. hätte es durchaus erlaubt, wie Beispiele aus anderen mittelöstlichen Ländern zeigen, Brunnen großer Tiefe zu graben. In Pergamon wurden derartige Tiefbrunnen jedoch nicht gefunden, obwohl das nicht zu harte Gestein und die am Fuß des Berges austretenden Quellen geradezu einluden, derartige Brunnenbauten zumindest zu versuchen.

Man ging zur Sicherstellung der Wasserversorgung in kriegerischer Zeit, wenn der Zugang zu den Quellen und Brunnen der Umgebung abgeschnitten war, vielmehr den Weg, Niederschläge von den Dächern und Plätzen in eine große Zahl von Fels-Zisternen (Inhalt 10 bis 130 m³) zu leiten und zu speichern. Je ha Fläche in der Königsstadt wurden im Durchschnitt 10 Zisternen gefunden, in der Wohnstadt 15–20. Die derart im gesamten Stadtgebiet speicherbare Wassermenge reichte aus, wie eine Nachrechnung ergab, um in der Notzeit einer Belagerung bei eingeschränktem Wasserverbrauch etwa 25.000 Einwohner über 12 Monate hinweg mit dem Notwendigsten zu versorgen.

Für Friedenszeiten war eine derart beschränkte Wasserversorgung natürlich völlig unzureichend. Höherer persönlicher Verbrauch sowie die Versorgung der öffentlichen Brunnen und Bäder haben sicher zu Pro-Kopf-Verbrauchswerten geführt, die größtmäßig denen heutiger Großstädte wohl entsprochen haben dürften.

Für eine reichliche Wasserbereitstellung im hellenistischen Pergamon bestand dabei nicht nur die Schwierigkeit der Wasserbeschaffung an sich, sondern darüber hinaus auch die der Förderung des Wassers in die Königsstadt auf der Spitze des 300 m aus der Kaikos-Ebene aufragenden und durch einen 200 m tiefen Sattel vom nördlich angrenzenden Gebirge getrennten Burgberges (Abb. 1). Rein vom Niveau her kamen für eine Wasserversorgung der Stadt auf dem Burgberg daher nur Quellen im Bereich des hohen Madradag im Norden in Frage. Die über dem Sattel liegenden Bereiche des Burgberges blieben dabei von der Versorgung ausgeschlossen. Erst in römischer Zeit, als der überwiegende Teil der Stadt in der Ebene am Fuß des Burgberges lag, war es möglich, auch tiefer gelegene Quellgebiete der Umgebung für die Versorgung mit heranzuziehen (Abb. 3).

Die ältesten Wasserzuführungen nach Pergamon sind zwei Rohrleitungen (eine einsträngig, die andere zweisträngig) aus dem oberen Selinus-Tal und eine einsträngige Leitung aus dem Gebiet des Geyiklidag. Die Selinus-Leitungen erreichten den Burgberg etwa in Höhe des Sattels zum nördlich anschließenden Gebirge, die Geyikli-Leitung versorgte das Gebiet des Asklepions vor der Stadt.

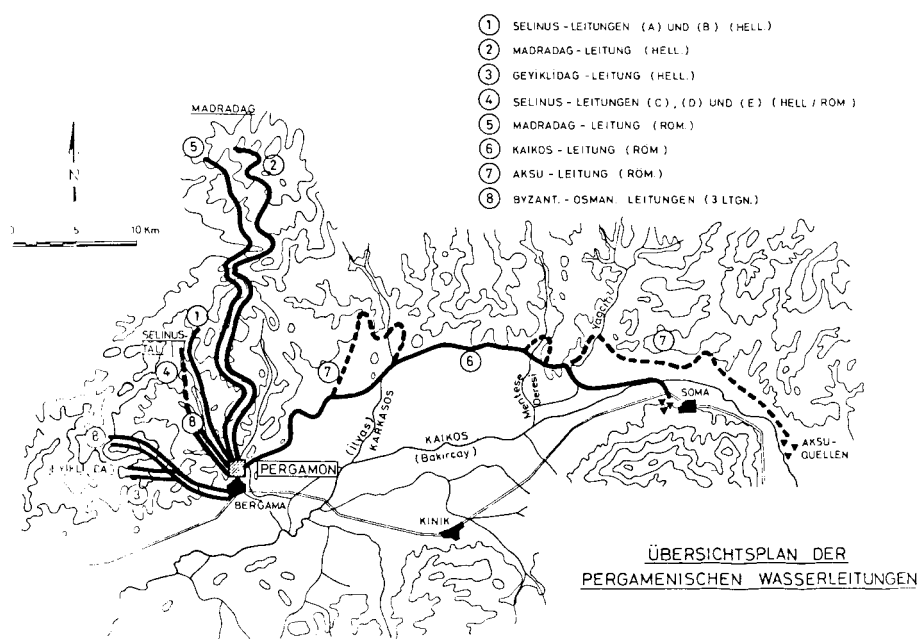


Abb. 3:

Verlauf der insgesamt 13 Fernwasserleitungen zum Stadtgebiet Pergamon und zum Asklepieion

Es folgte dann zeitlich, wohl von Eumenes II. im Zusammenhang mit dem Umbau und Neubau der Königsstadt angelegt, eine 42 km lange dreisträngige Rohrleitung von den Südhängen des Madradag bis auf die Spitze des Burgberges.

Aus römischer Zeit stammen dann Leitungen von den Quellen am Madradag, von den Aksu-Quellen bei Soma und von den Quellen an den westlichen Hängen des Selinustals. In spätrömischer, byzantinischer und osmanischer Zeit wurden weitere Leitungen als Ersatz und/oder zur Erweiterung der älteren Wasserzuführungen gebaut.

Diese Wasserversorgungssystem der Stadt in seiner Entstehung, mit seinen Veränderungen und seinem Verfall mit allen technischen Einzelheiten zu behandeln, würde eine einsemestrige Vorlesung füllen. Hier soll nur die hellenistische Madradag-Leitung geschildert werden, die als einzige Wasser bis auf die Spitze des Burgberges brachte und die gleichzeitig in ihrem unteren Teil die kühnste der pergamenischen Wasserzuführungen (und eine der kühnsten antiken Wasserleitungen überhaupt) war.

Die Leitung hat ihren Ursprung an den südlichen Hängen des Madradag in 1230 m Höhe, 900 m über dem höchsten Punkt des Burgberges (Abb. 4). Sie besteht zunächst aus einer Einzelrohrleitung, wird dann an der Quelle Koca-Su zweisträngig und nimmt schließlich am Kemerdere einen dritten Strang auf (Abb. 5).

Das Gelände zwischen dem Madradag und Pergamon ist stark zerissen und zwingt die Leitung zu vielfachen Windungen und Talumfahrungen. Es ist nicht nur die großartige Konzeption dieser mehr als 40 km durch unwegsames Gelände führenden Lei-

MADRA DAĞI

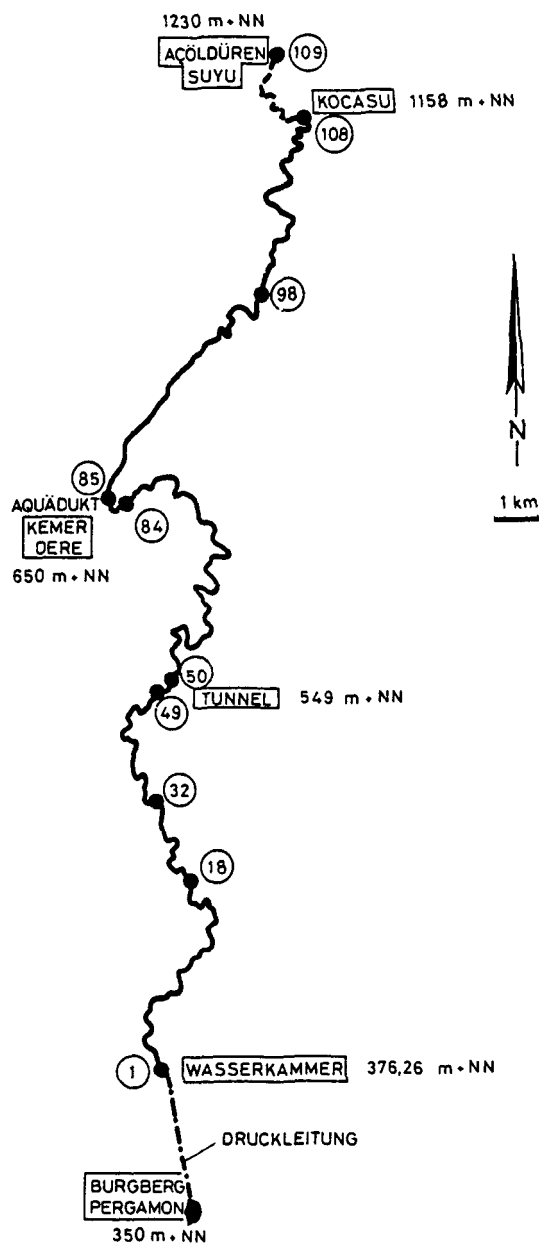


Abb. 4:

Lageplan der hellenistischen Leitung vom Madradag (Leitung 2 auf Abb. 3).
Insgesamt wurden auf 42 km Länge 109 „in situ“-Punkte der Leitung aufgefunden



Abb. 5:

Dreisträngige (unterhalb des Kemer Dere) Madradag-Leitung bei Punkt 49 (vgl. Abb. 4)

tung, die den Betrachter immer wieder fasziniert. Bewundernswert ist vor allem die Einfachheit der Mittel, mit denen das angestrebte Ziel erreicht wurde. Es gibt hier keine der imposanten Aquädukte, mit denen die Römer sich oft machtvoll über widrige topographische Verhältnisse hinwegsetzten. Die hellenistische Madradag-Leitung ordnete sich nüchtern und sachlich den Gegebenheiten des Geländes unter und war doch gleichzeitig elegant und wirtschaftlich in ihrer Linienführung. Wo es erforderlich war, wurden örtliche Hindernisse mit viel Einfühlungsvermögen korrigiert, nirgends wurde jedoch die Natur durch monumentale Kunstbauten ersetzt.

Die Quellfassungen sind nicht erhalten, nur Rohrscherben im Bereich der Quellen zeugen noch heute von der Tatsache, daß hier einst eine Wasserleitung nach Pergamon ihren Ursprung hatte.

Grundriß und Längsschnitt der Leitung, nach mehrjährigen Such- und Vermessungsarbeiten sauber aufgezeichnet und dargestellt, sehen einfach aus. Auch das Aufgraben der Leitung erscheint simpel, handelt es sich doch offenbar um unübersehbar große Rohre. Dieser Eindruck täuscht jedoch, denn bei der Aufnahme der Arbeiten im Jahre 1968 stand nur eine grobe Skizze aus dem Jahre 1886 mit einigen wenigen Fixpunkten (und auch einige Irrtümer enthaltend) zur Verfügung und auch in den Jahren 1968, 1969 und 1972 konnten auf insgesamt 42 km Länge nur 109 eindeutig gesicherte Punkte gefunden werden (Abb. 4). Die Suche in dem unwegsamen Gelände war außerordentlich schwierig, da die Leitung streckenweise durch natürliche Erosion abgeschwemmt oder durch Diebstahl verschwunden war und da sie auf große Längen bis zu 1,50 m tief unkenntlich unter dem Waldboden lag.

Die Existenz von 109 Punkten auf 42 km Länge vermittelt dem Eindruck, daß die Leitung etwa alle 400 m erkennbar war. In der Praxis lagen jedoch oft mehrere Funde in situ relativ eng beieinander, gefolgt von kilometerlangen Lücken. Oft waren es nur verwitterte Scherbenreste von wenigen Quadratzentimetern Größe, die über lange Strecken den Weg wiesen. Es wäre auch sicher nicht gelungen, die zuweilen verlorengegangene Trasse immer wieder aufzufinden und zu vermessen, wenn nicht ortskundige Bauern hilfreiche Hinweise gegeben hätten.

Ironischerweise konnte gerade dort, wo die Rohre ganz fehlten, nämlich entlang sogenannter „Raubgräben“, der Lauf der Leitung auf große Längen sicher vermessen werden. 1945 hatten sechs Bauern aus der Umgebung des Dorfes Mahmudiye etwa 15.000 unbeschädigte Rohre ausgegraben und verkauft. Wenn, konservativ geschätzt, weitere 10.000 Rohre als Bruch gerechnet werden, dann hat diese Gruppe mehr als 10% der gesamten Leitung vermarktet. Als Kosten wurden seinerzeit kalkuliert: 10 Kurus für die Ausgrabung (2 Mann), 10 Kurus für den Transport (2 Mann, 4 Rohre je Esel) und 10 Kurus für den Verkauf auf dem wöchentlichen Markt in Bergama (2 Mann). Je Rohr wurde also ein Endpreis von 30 Kurus erhoben, das war zu damaligen Zeiten der Gegenwert von 6 Broten. Die Nachfrage war anscheinend groß und das Geschäft lukrativ, bis der örtliche Museumsdirektor als direkt Verantwortlicher für Antiken die Herkunft der Rohre entdeckte und für eine Verhaftung und Aburteilung der „Ausgräber“ sorgte. Zwar hörte damit die gezielte kommerzielle Nutzung der Madradag-Leitung auf, ihr Abbau durch die Bewohner der umliegenden Dörfer ging und geht jedoch weiter, da sich die Rohre vielfältig verwenden lassen.

An dieser Stelle vielleicht einige Worte über die Rohre selbst (Abb. 6). Die rund 200.000 Einzelrohre sind in gewissen Grenzen unterschiedlich in ihrer Form, ihren Abmessungen und im Material. Es ist daher anzunehmen, daß sie nicht an einer einzigen zentralen Stelle gebrannt, sondern entlang der Leitungstrasse an verschiedenen Orten gefertigt worden sind. Dafür sprechen auch die unterschiedlichen Stempel auf den Rohren. Bei Innendurchmessern von 16 bis 19 cm variiert die Wandstärke zwischen 3 und 4 cm, die Längen liegen zwischen 50 und 70 cm. Die Rohre sind zum Teil zylindrisch (Herstellung in Formen), haben aber teilweise auch in der Mitte einen kleineren Außendurchmesser als an den Rohrenden (Herstellung auf der Töpferscheibe).

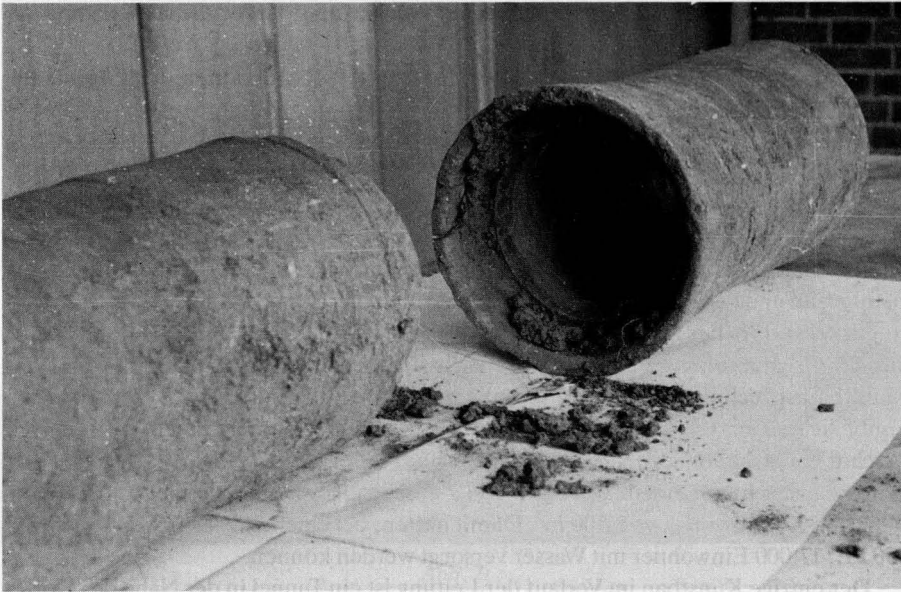


Abb. 6:

Dichtungsmaterial in den Stößen der Tonrohre

Die Rohre sind als grobe Gebrauchskeramik zu bezeichnen, deren Qualität entlang der Leitung in Abhängigkeit von dem örtlich verfügbaren Rohmaterial wechselt. Sie sind nicht in einem zentralen, permanenten Brennofen hergestellt worden, sondern wahrscheinlich an mehreren Stellen (mindestens vier) entlang der Leitung in Feldbrandöfen, wie sie auch heute noch in Anatolien weitverbreitet sind. Die Brenntemperaturen dürften, der kristallinen Struktur des Rohmaterials zufolge, dabei zwischen 800° und 950° gelegen haben.

Im Verlauf der Rohrstränge der Madradag-Leitung bestehen insgesamt rund 200.000 Stöße zwischen den Einzelrohren. Bei auch nur geringen Undichtigkeiten an diesen Stellen wäre wahrscheinlich nur wenig Wasser nach Pergamon gelangt. Bei den in situ vorgefundenen Rohren lassen sich Dichtungsmaßnahmen nicht feststellen, die Rohre waren anscheinend lose aneinander gefügt und die Fugen mit natürlichem Boden gefüllt worden (Abb. 6). Erst genauere bodenmechanische, chemische und mineralogische Untersuchungen ergaben, daß das Material in den Stößen keineswegs dem umgebenden Boden entsprach. Aus der Körnungskurve ließ sich schließen, daß das Material nicht „natürlich“ zusammengesetzt ist, sondern eine künstliche Mischung aus Sand, Schluff und quellfähigem Ton darstellt. Diese Art der Dichtung kann als selbsterhaltend bezeichnet werden. Solange Wasser in der Leitung fließt, ist eine Impermeabilität gewährleistet, da das Volumen der Mischung sich bei Wasseraufnahme um bis zu 30% vergrößert. Der Wasserverlust auf der gesamten Leitungslänge hat bei sachgerechter Einbringung der Dichtung und unter der Voraussetzung, daß Schäden durch

Setzungen, Erdbeben u.ä. nicht auftreten, weniger als 1% der Gesamtleistung betragen.

Darüber hinaus deuten Gaschromatogramme von Extraktionen des Fugenmaterials darauf hin, daß seine dichtende Wirkung durch den Zusatz von Hydrophobierungsmitteln auf der Basis von Erdöl bzw. Erdwachs weiter erhöht worden ist (0,5% Naphtalin).

Die hydraulische Leistungsfähigkeit von Rohren hängt von ihrem Querschnitt, dem Gefälle der Leitung und der Rauheit der Wandungen ab. Der Querschnitt der Rohre der Madradag-Leitung beträgt rund 200 cm^2 . Das Gefälle der Leitung nimmt in Fließrichtung ab und besitzt an ihrem unteren Ende einen Kleinstwert von 0,4%. Der Widerstandsbeiwert (in der Darcy-Weisbach-Gleichung) für die Rohrwandung wurde für eine aus 22 Originalrohren bestehende Versuchsstrecke im Wasserbaulaboratorium der Middle East Technical University in Ankara zu $\lambda = 0,028$ ermittelt. Aus diesen Werten ergibt sich als maximale Leistung eines Rohres 15 l/s. Die dreisträngige Leitung vermochte damit bei nahezu gefülltem Querschnitt (Freispiegelabfluß) 45 l/s zu leisten. Wird realistisch von einem Wert von 30 l/s ausgegangen, dann entspricht das einem täglichen Zufluß von etwa 2.500 m^3 . Damit hätten, bei einem täglichen Verbrauch von 150 l/E, 17.000 Einwohner mit Wasser versorgt werden können.

Der einzige Kunstbau im Verlauf der Leitung ist ein Tunnel in der Nähe des Dorfes Yogurtdöken. Zwischen den Punkten 50 und 49 liegt hier ein Sattel, von dem sich das Gelände nach Westen zum Janiktarla und nach Osten zum Korucutepe hebt. Nach Norden und Süden fällt das Gelände in Form zweier kleiner Trockentäler ab, die nur bei Starkregen Wasser führen. Die Leitung (Raubgraben) konnte von Süden her bis etwa 200 m vor dem Sattel verfolgt werden und tauchte in der gleichen Entfernung nördlich des Sattels (wiederum Raubgraben) wieder auf. Die Höhenlagen beider Punkte (547,55 bzw. 550,36 m NN) schlossen eine Führung über den Sattel (583,00 m NN) aus. Als mögliche Linienführung kamen demzufolge nur eine Untertunnelung des Sattels oder eine mehrere Kilometer lange Umfahrung des Korucutepe in Betracht. Bei Sondierungen auf beiden Seiten des Sattels wurde schließlich auf der Südwestseite im losen Hangschuttmaterial auf der Höhenlinie (550,00 m NN) ein gemauerter Stollen von 2,20 m Höhe und 1,0 m Breite aufgedeckt, der weiter oberhalb in den eigentlichen Felstunnel überleitet.

Die Madradag-Leitung endet am Berg „Hagios Georgios“ gegenüber dem Burgberg schließlich in einer Wasserkammer, die als Absatzbecken zwischen der dreisträngigen Rohrleitung und der folgenden Druckleitung diente (Abb. 7). Die 1896 aufgedeckte Kammer ist als Doppelbecken von zweimal $3,63 \times 1,21 \text{ m}$ Fläche gebaut. Den Boden bildet eine dicke Plattenlage aus Trachyt, auf die die Außenmauern und die Zwischenwand aufgesetzt sind. Der Zufluß erfolgt von der nordwestlichen Ecke her in das nördliche Becken, der Abfluß diagonal gegenüber aus der südlichen Kammer. Die Verbindung beider Kammern durch die Trennwand hindurch besteht aus drei Überlauföffnungen, die etwas tiefer als die Zuflußöffnungen und etwas höher als die Ausflußöffnungen liegen. Der Zweck des Beckens war zweifelsfrei die Freihaltung der anschließenden Druckleitung von Geschiebe, Sand und Geschwemmsel.

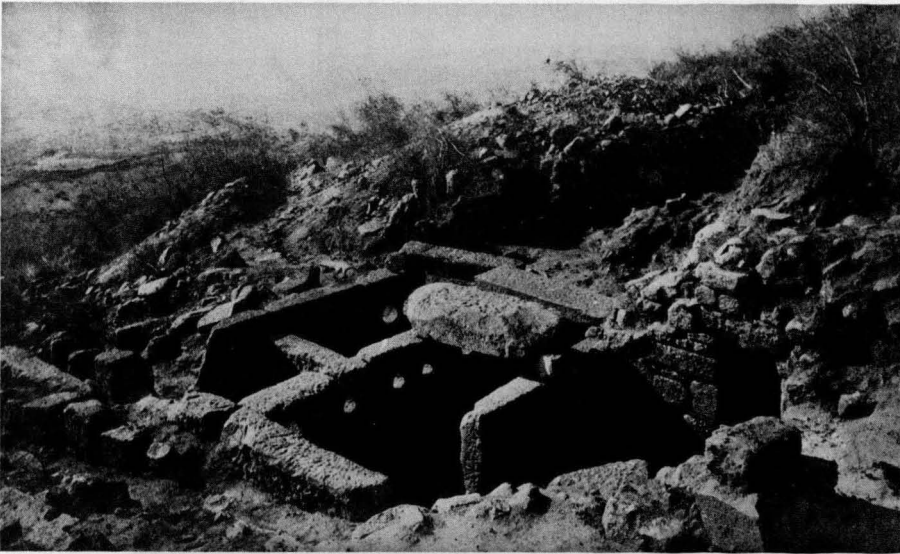


Abb. 7:

„Wasserkammer“ (Absetzbecken) am Hagios als Übergang zwischen der dreisträngigen Zuleitung aus den Bergen und der Druckleitung (Zustand 1896 nach Restaurierung)

Die Wasserkammer liegt rund 35 m über dem in der Luftlinie 3 km entfernten oberen Teil der Königsstadt auf der Spitze des Burgberges. Dazwischen erstreckt sich, mit seinem tiefsten Punkt 190 m unter der Wasserkammer und durch zwei kleinere Erhebungen aufgegliedert, ein langgestreckter Sattel (Abb. 8, 9). Die Überwindung dieses Einschnitts durch eine Druckleitung unter einer Beanspruchung von fast 200 m Wassersäule war für die damalige Zeit ein Unternehmen von beispielloser Kühnheit. Vorher und m. W. auch nachher bis in das 19. Jahrh. hinein ist nicht wieder gewagt worden, Leitungen zu bauen, die einem derartigen Druck ausgesetzt waren. Die Druckrohrleitung von Pergamon wird daher mit Recht zu den großartigsten Leistungen der antiken Hydrotechnik gerechnet und stellt sicher den Kulminationspunkt hellenistischer Wasserleitungstechnik dar.

Die Leitung selbst wurde nicht mehr gefunden, wohl aber ihre Lagerung (Abb. 10, 11). Sie besteht aus aufrecht stehenden Trachytplatten in Abständen von etwa 1,60 m mit den Abmessungen $l = 1,20$ bis $1,50$ m, $h = 0,60$ bis $0,70$ m und $b = 0,20$ bis $0,30$ m. Die Platten sind in der Mitte durchbohrt ($d \sim 0,28$ m), wobei bei den meisten Steinen diese Durchbohrung von oben gewaltsam aufgeschlagen ist. Zwischen den Platten liegen flach einzelne Trachytplatten deren Oberfläche mit der Unterkante der Durchbohrung abschließt. Wo die durchbohrten Steinplatten auf gewachsenem Fels stehen, ist dieser auf die Höhe der jeweils oberen Durchbohrung abgearbeitet. Vor der nach unten folgenden Bohrung fehlen die liegenden Trachytplatten bzw. ist der natürliche Fels tiefer ausgearbeitet, um Freiraum für die Muffen und deren Dichtung zu schaffen.

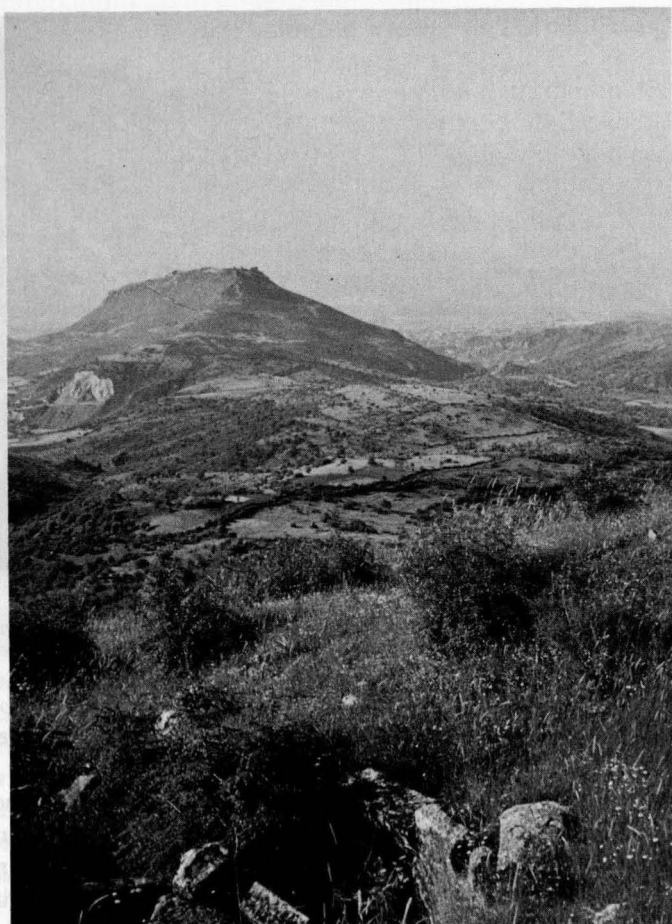


Abb. 8

Blick von der „Wasserkammer“ (Abb. 7) über den Sattel auf den Burgberg Pergamon
(Zustand 1985, Becken stark zerstört)

Es kann mit Sicherheit davon ausgegangen werden, daß die Rohre aus Metall bestanden haben. Dafür sprechen:

- die Größe des aufzunehmenden Drucks
- die Art der Lagerung
- die Tatsache, daß andere in die Auflagerung passende Rohre (z.B. aus Stein) nicht aufgefunden wurden.
- das völlige Fehlen der wertvollen Metallrohre. Sie wurden offensichtlich, teilweise mit Gewalt, systematisch Stück für Stück aus ihrer Lagerung herausgebrochen.

Nach dem damaligen Stand der Metallurgie konnten die Rohre aus Blei oder Bronze bestanden haben. Die Frage des Rohmaterials wurde im Verlauf dieser Arbei-

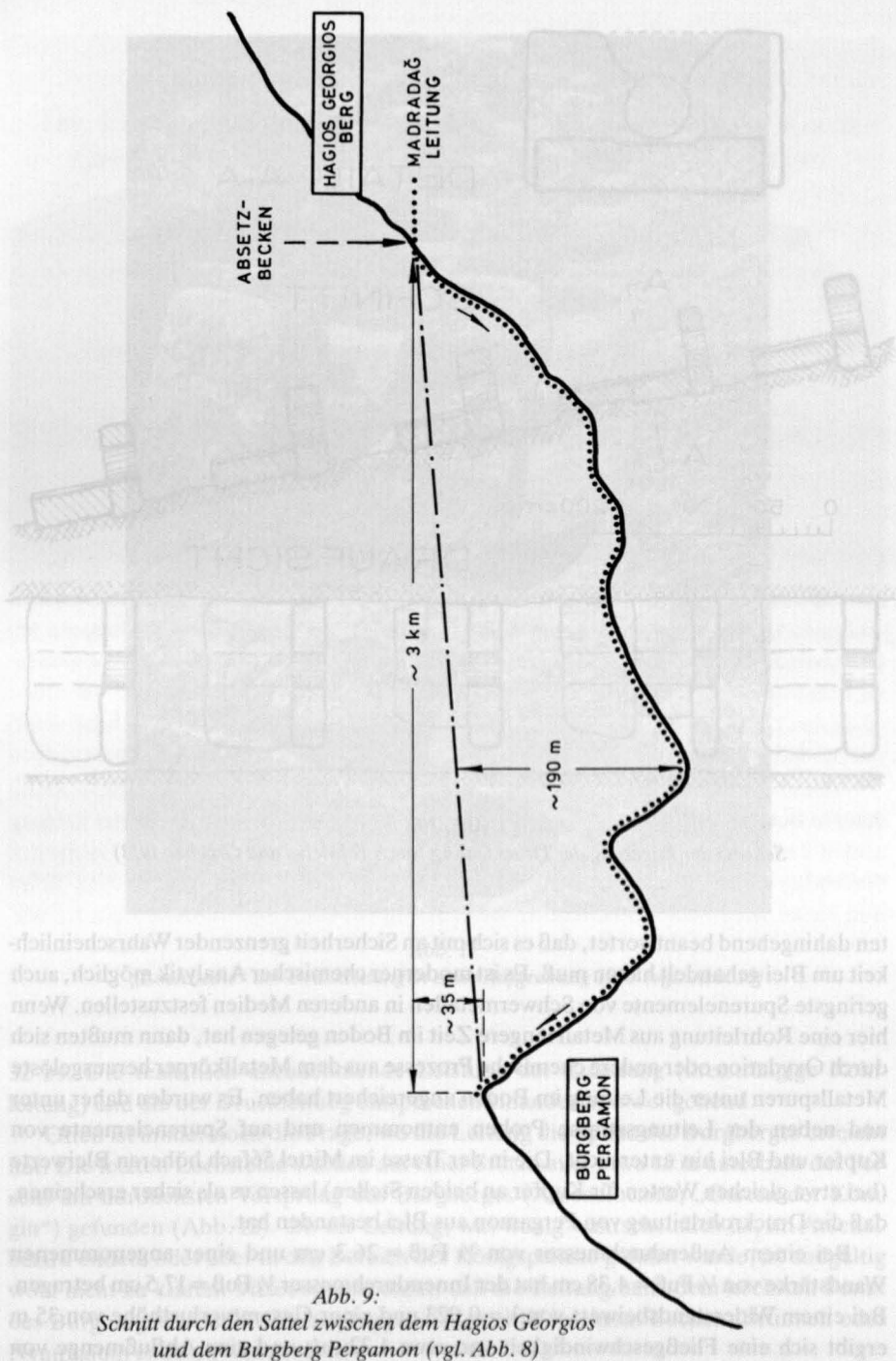


Abb. 9:

Schnitt durch den Sattel zwischen dem Hagios Georgios
und dem Burgberg Pergamon (vgl. Abb. 8)

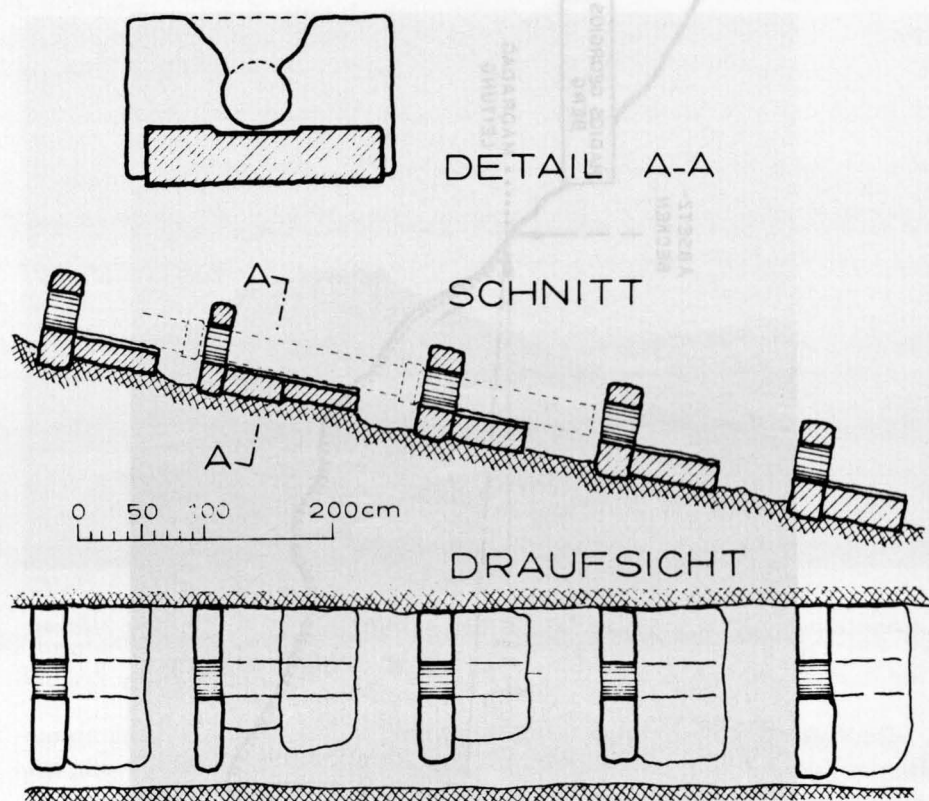


Abb. 10:
Schema der Lagerung der Druckleitung (nach Fabricius und Graeber, 1913)

ten dahingehend beantwortet, daß es sich mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit um Blei gehandelt haben muß. Es ist moderner chemischer Analytik möglich, auch geringste Spurenelemente von Schwermetallen in anderen Medien festzustellen. Wenn hier eine Rohrleitung aus Metall längere Zeit im Boden gelegen hat, dann mußten sich durch Oxydation oder andere chemische Prozesse aus dem Metallkörper herausgelöste Metallspuren unter die Leitung im Boden angereichert haben. Es wurden daher unter und neben der Leitungsstrasse Proben entnommen und auf Spurenelemente von Kupfer und Blei hin untersucht. Die in der Trasse im Mittel 56fach höheren Bleiwerte (bei etwa gleichen Werten für Kupfer an beiden Stellen) lassen es als sicher erscheinen, daß die Druckrohrleitung von Pergamon aus Blei bestanden hat.

Bei einem Außendurchmesser von $\frac{3}{4}$ Fuß = 26,3 cm und einer angenommenen Wandstärke von $\frac{1}{8}$ Fuß = 4,38 cm hat der Innendurchmesser $\frac{1}{2}$ Fuß = 17,5 cm betragen. Bei einem Widerstandsbeiwert von $\lambda = 0,023$ und einer Gesamtverlusthöhe von 35 m ergibt sich eine Fließgeschwindigkeit von etwa 1,32 m/s und eine Abflußmenge von



Abb. 11:
„Lochsteine“ der Druckleitung in einer Aufgrabung 1985 (vgl. Abb. 10)

32 l/s. Die realistisch anzunehmende Leistung der Zuleitung (dreisträngige Rohrleitung) und die der Druckleitung entsprechen einander also weitgehend.

Offen ist immer noch die Frage, wo die Leitung die Spitze des Burgberges erreicht hat. Die letzten Lochsteine wurden auf einer Stützmauer etwa 15 m unterhalb des Felsens am nördlichsten Vorsprung des Burgberges (Arsenalbezirk, „Garten der Königin“) gefunden (Abb. 12). Ob die Leitung, was wenig wahrscheinlich ist, im Arsenalbezirk endete oder aber in den Bereich der Königspaläste geführt wurde, ist endgültig wohl nicht zu klären. Vieles spricht dafür, daß die Leitung nahe dem höchsten Punkt des Burgberges zwischen Palastgruppen I/II und III in einem Becken, Brunnen oder Nymphäum endete [Wasserturm].

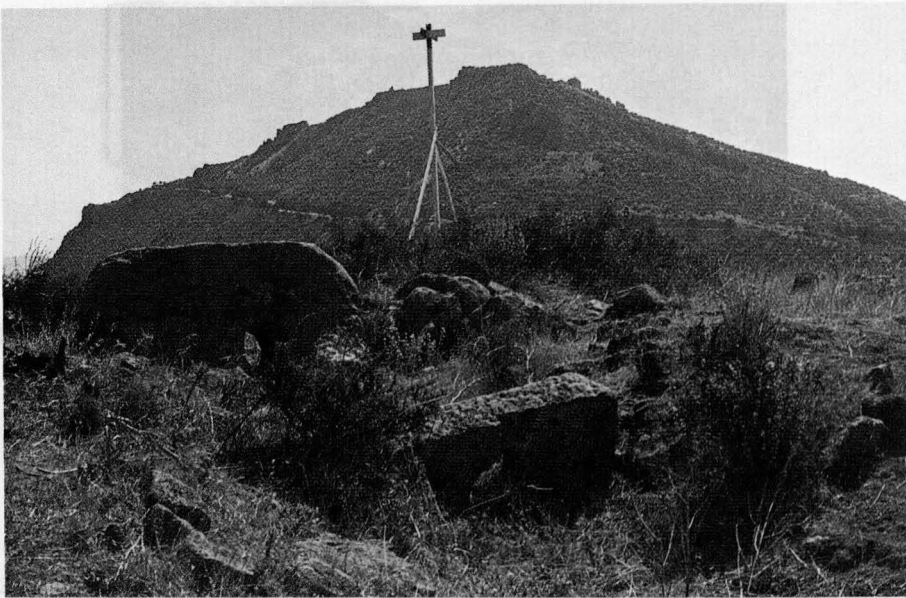


Abb. 12:

Blick vom Sattel (zweiter Zwischenhügel, vgl. Abb. 8 und 9) über die Trasse der Druckleitung (Lochsteine) auf den Burgberg.

Der Arsenalbezirk liegt auf dem nördlichsten Plateau des Burgberges

Abschließend wäre vielleicht noch auf die Frage einzugehen, wie lange die Leitung denn in Betrieb war. Die Antwort ist eindeutig zu geben. Planung und Bau der Leitung sind in das 2. Jahrh. v.Chr. zu datieren. Die römische Kanalleitung aus dem Gebiet des Madradag entstand, nach allem was wir wissen, in der Mitte des 2. Jahrh. n.Chr. Beim Bau dieses neuen Kanals ist jedoch nachweislich (a) beim Überschreiten des Kemerders in den Bergen (b) im Bereich des Tunnels bei Yogurtdöken und (c) auch im Sattel zwischen dem Gebirge und dem Burgberg auf die hellenistische Leitung Rücksicht genommen worden. Die Zuleitung aus dem Madradag-Gebirge und die Druckrohrleitung waren demzufolge also mindestens 300 Jahre, wahrscheinlich länger in Betrieb.

Ich möchte mit der persönlichen Bemerkung schließen, daß ich als Ingenieur und Wissenschaftler des 20. Jahrhunderts nicht anstehe, meine Hochachtung und meinen Respekt zum Ausdruck zu bringen für die Kühnheit der Planung und die hochstehende Technik in der Ausführung dieses Projekts. Wenn noch berücksichtigt wird, wie gering damals die technisch-wissenschaftlichen Grundkenntnisse (Statik, Bodenmechanik, Hydrodynamik) für die Planung und Bemessung waren und wenn in Rechnung gestellt wird, wie begrenzt die zur Ausführung der Bauten verfügbaren technologischen Mittel waren, dann meine ich, daß das Wasserversorgungssystem Pergamons, und insbesondere die Madradag-Leitung, einen Vergleich mit modernen wasserwirtschaftlichen Großanlagen durchaus nicht zu scheuen braucht.